

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

Cite No 1.

(11)Publication number : 2000-036616

(43)Date of publication of application : 02.02.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 10-204931

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 21.07.1998

(72)Inventor : SUZUKI NOBUHIRO

NITTA KOICHI

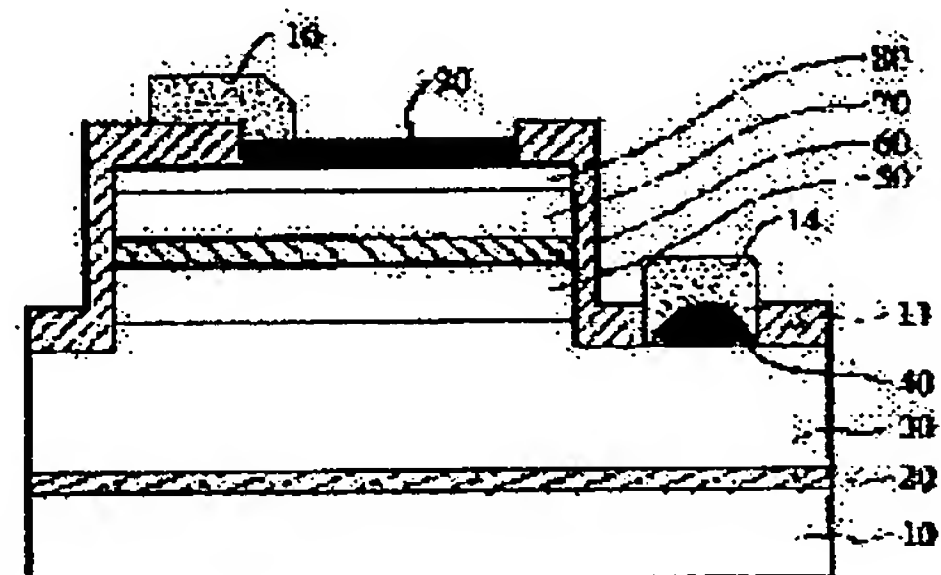
SUGAWARA HIDETO

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain sufficient ohmic contact between an electrode and a contact layer by forming a clad layer and the contact layer of compounds represented by specific formulae I, II doped with a P type impurity and falling the first and second compositions within specific ranges.

SOLUTION: The semiconductor light emitting element is formed of a gallium nitride compound, and comprises an active layer 60 for emitting a light having a predetermined wavelength, a clad layer 70 for confining carrier in the active layer, a contact layer 80 provided adjacent to the clad layer, and electrodes 40, 50 for supplying a predetermined potential or current to the layers 70, 80. The layer 70 is formed of a formula I of $Ga_{1-x}Al_xN$ doped with a P type impurity to satisfy the relation of a first composition ratio (x) of $0 < x < 0.5$. The contact layer 30 (80) is formed of a formula II of $Ga_{1-y}Al_yN$ doped with a P type impurity to satisfy the relation of a second composition ratio (y) of $0 < y < x$. Accordingly, a contact resistance of the P type layer can be reduced, and it is effective to use an oxide or oxide/metal electrode.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 11.05.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-36616

(P2000-36616A)

(43)公開日 平成12年2月2日(2000.2.2)

(51)Int.Cl.⁷

H01L 33/00

識別記号

FI

H01L 33/00

サーチコード(参考)

C 5F041

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全8頁)

(21)出願番号 特願平10-204931

(22)出願日 平成10年7月21日(1998.7.21)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 鈴木 伸洋

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会
社東芝川崎事業所内

(72)発明者 新田 康一

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会
社東芝川崎事業所内

(74)代理人 100083161

弁護士 外川 英明

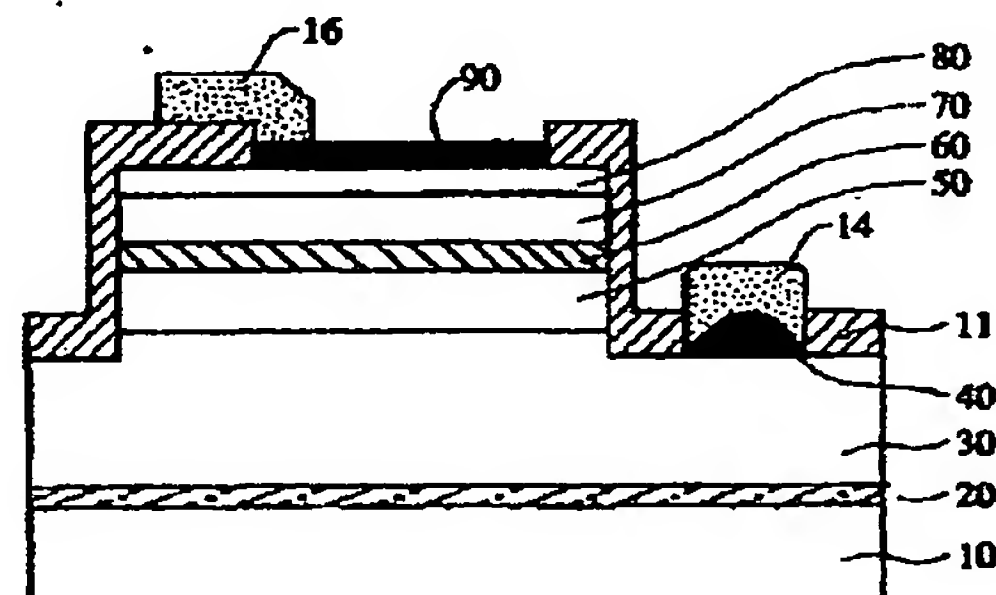
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】本願発明は、p層でのコンタクト抵抗の低減を
目的とする。

【解決手段】本願発明にかかる半導体発光素子は、窒化
ガリウム系化合物からなり、所定の波長を有する光を発
する活性層と、前記活性層内にキャリアを閉じ込めるた
めのクラッド層と、前記クラッド層に隣接して設けられ
たコンタクト層と、前記コンタクト層に所定の電位又は
電流を供給する為の電極とを備え、前記クラッド層は、
P型の不純物が添加されたGa_{0.1}xAl_{1-x}Nからなり、か
つ、第一の組成比xは0<x<0.5なる関係を満た
し、前記コンタクト層は、P型の不純物が添加されたGa_{0.1}yAl_{1-y}Nからなり、かつ、第二の組成比yは0<y
<xなる関係を満たす事を特徴とする。



(2)

特開2000-36616

【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化ガリウム系化合物からなり、所定の波長を有する光を発する活性層と、

前記活性層内にキャリアを閉じ込めるためのクラッド層と、

前記クラッド層に隣接して設けられたコンタクト層と、
前記コンタクト層に所定の電位又は電流を供給する為の電極と、を備え、

前記クラッド層は、P型の不純物が添加された $Ga_{1-x}Al_xN$ からなり、かつ、第一の組成比 x は $0 < x < 0.5$ なる関係を満たし、

前記コンタクト層は、P型の不純物が添加された $Ga_{1-y}Al_yN$ からなり、かつ、第二の組成比 y は $0 < y < x$ なる関係を満たす事を特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 前記電極が、酸化物を含む事を特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記第二の組成比 y が $0 < y < 0.1$ の関係を満たす事を特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記クラッド層に含まれるP型の不純物の濃度と、前記コンタクト層に含まれるP型の不純物の濃度は概略等しい事を特徴とする請求項1記載の半導体素子。

【請求項5】 前記P型の不純物の濃度が、 1×10^{19} (cm⁻³)以上であり、かつ、 1×10^{21} (cm⁻³)以上である事を特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項6】 窒化ガリウムを主成分とする活性層の上方に、P型不純物を含有した $Ga_{1-x}Al_xN$ からなるクラッド層を形成する工程と、

前記クラッド層の上に、P型不純物を含有した $Ga_{1-y}Al_yN$ ($y < x$) からなるコンタクト層を形成する工程と、

前記コンタクト層の表面に電極を形成する工程と、
を具備する事を特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体発光素子に関し、特に窒化ガリウム系半導体が使用されるのもである。

【0002】

【従来の技術】 現在、窒化ガリウム (GaN) 系の発光素子は、所定の電圧を印可すると所定の波長の光を発する活性層の上に、活性層からキャリアが流れ出る事を抑制するクラッド層を形成し、更にクラッド層の上に、クラッド層 (又は活性層) に所定の電位を供給するための電極を形成する構造が使用されている。

【0003】 ここで、活性層にはインジウム窒化ガリウム ($InGaN$) 又は窒化ガリウム (GaN) が使用さ

れ、クラッド層には窒化アルミニウムガリウム ($Ga_{1-x}Al_xN$, $0.1 < x < 0.5$) が使用される事が多い。ここで、窒化アルミニウムガリウム ($Ga_{1-x}Al_xN$, $0.1 < x < 0.5$) から構成されるクラッド層が、上述した様なクラッド層として機能を十分に発揮する為には、アルミニウム Al の組成比 x は 0.1 程度必要となる事が知られている。

【0004】 しかし、クラッド層に含まれるアルミニウム Al の組成比 x の値を 0.1 より大きくすると、クラッド層の上に形成された電極とクラッド層とをオーミック接触させる事が困難となり、動作電圧が上昇してしまう。

【0005】 そこで、マグネシウム (Mg) が添加されたp型窒化アルミニウムガリウム ($Ga_{1-x}Al_xN$) ($0.1 < x < 0.5$) からなるクラッド層の上にマグネシウム (Mg) が添加されたp型窒化ガリウムからなるコンタクト層を形成する事により動作電圧を低減する方法が、特開平6-268259が提案されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、この方法には以下の問題点がある。即ち、コンタクト層に所定の電圧 (又は電流) を供給する為、所定の電圧が印可される電極に酸化物系の電極を使用した場合、この酸化物系の電極とコンタクト層との間には電流がほとんど流れない。また、コンタクト層上にニッケル Ni 等の金属を 100nm 程度形成し、その上にITO (Indium Tin Oxide) 等の酸化物をつけて電極を構成する方法が研究されているが、この場合でも動作電圧が従来の $Ni/Au/Ni$ 等の電極に比べて 1.2 乃至 1.5 倍程度と高くなってしまい、消費電力が大きくなってしまう。そこで、本願発明は、酸化物系の電極を使用しても、電極とコンタクト層間で十分なオーミック接触が得られる光半導体素子を提供する事を目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 上述の目的を達成する為に、本願発明にかかる半導体発光素子は、窒化ガリウム系化合物からなり、所定の波長を有する光を発する活性層と、前記活性層内にキャリアを閉じ込めるためのクラッド層と、前記クラッド層に隣接して設けられたコンタクト層と、前記コンタクト層に所定の電位又は電流を供給する為の電極とを備え、前記クラッド層は、P型の不純物が添加された $Ga_{1-x}Al_xN$ からなり、かつ、第一の組成比 x は $0 < x < 0.5$ なる関係を満たし、前記コンタクト層は、P型の不純物が添加された $Ga_{1-y}Al_yN$ からなり、かつ、第二の組成比 y は $0 < y < x$ なる関係を満たす事を特徴とする。上記の様な構成を採用する事により、本願発明にかかる半導体発光素子は動作電圧の上昇を抑制する事が出来る。

【0008】

【発明の実施の形態】 (第一の実施形態) 以下、図面を

(3)

特開2000-36616

参酌しながら本願発明にかかる実施形態を詳細に説明する。図1には本願発明に係る半導体発光素子の上面透視図を示した。図1に示す様に、コンタクト層80の上に、電極90が設けられており、コンタクト層30の上方に電極40が設けられている。

【0009】また、図1におけるAB断面図を図2に示した。図2に示した様に、例えばサファイア(AI₂O₃)からなる基板10の上にバッファ層20が形成されており、その上には例えばシリコンを含んだn型窒化ガリウム(n-GaN(Si))からなるコンタクト層30が形成されている。ここで、シリコンSiを含んでいるのは、窒化ガリウムGaNをn型にするためである。ここで、バッファ層20は、例えば窒化アルミニウム(AIN)から構成されている。

【0010】また、コンタクト層30の上面の一部にはn型電極40が形成され、それ以外の上面には例えばシリコンを含んだn型の窒化アルミニウムガリウム(n-AI_{0.1}G_{0.9}N(Si))からなるクラッド層50が形成されている。また、電極40の上にはボンディングパッド14が形成されている。但し、図1では理解を容易にする為、ボンディングパッド14は図示していない。

【0011】また、このクラッド層50の上には、例えばシリコンSiと亜鉛Znを含んだ窒化ガリウムGaNからなる活性層60が形成され、更にその上には、例えばマグネシウムを含んだp型の窒化アルミニウムガリウム(p-AI_{0.15}G_{0.85}N(Mg))からなるクラッド層70が形成されている。

【0012】ここで、活性層60は、活性層60内に蓄積された電子が正孔と結合する際、所定の波長を有する光を発光する層である。クラッド層50、及び70は活性層60の両端にエネルギー障壁を形成し、活性層60内に蓄積したキャリアが溢れ出ない様に閉じ込める為の層である。また、活性層60に亜鉛Znを添加した理由は発光波長を制御する為であり、制御する必要がなければ亜鉛Znを添加する必要はない。

【0013】また、クラッド層70の上には、例えばマグネシウムMgを含んだp型の窒化アルミニウムガリウム(p-AI_{0.03}G_{0.97}N(Mg))からなるコンタクト層80が設けられ、その上には酸化物を含んだ電極90、例えば、酸化インジウムチタンITO(Indium Tin Oxide以下、単にITOと称する)、又はITO/Niからなる電極が設けられている。また、電極90の一部にはボンディングパッド16が形成されている。但し、図1では理解を容易にする為、ボンディングパッド16は図示していない。

【0014】次に、図3に電極90近傍の拡大断面図を示した。図3(1)に示される様に、コンタクト層80の上面の一部には、ITOからなる電極90が形成され、それ以外のコンタクト層80の表面には保護膜とな

る酸化膜が形成されている。更に、電極90の上面の一部には例えば、ニッケルNi層84と金Au層85の積層から構成されるボンディングパッド86が形成されている。

【0015】また、図3(2)には、図3(1)に示した実施形態の変形例を示した。図3(2)に示される様に、電極90には、厚さ100nm程度のニッケルNi91とITO92の積層から構成される電極が設けられている。ここで、ニッケルNiを設ける理由はオーミック接触を取り易くする為である。

【0016】また、図3(3)には、電極90にニッケル層95、金層Au94、ニッケル層93の積層から構成される電極が設けられている。また、ニッケル層93の上には保護膜が形成されている。

【0017】次に、上述の半導体発光素子の製造方法について説明する。図4(1)に示す様に、基板10の上に、MOCVD法を用いてバッファ層20、コンタクト層30、クラッド層50、活性層60、クラッド層70、コンタクト層80を連続して積層形成する。以下に、更に詳細に説明する。また、説明の便宜上、各工程に対して番号を付けた。

【0018】(1) まず始めに、水素ガスを流しながら基板10を約1100℃で10分間加熱し、基板10の表面に付着して酸化膜を除去する。

(2) 次に、温度を600℃まで冷却し、トリメチルアルミニウム(以下、TMAと称する)、アンモニア、及び、水素や窒素等のキャリアガスを流入させる事により、厚さ30nm程度の窒化アルミニウムAINからなるバッファ層20を基板10の上に形成する。

【0019】(3) これに続いて、1100℃程度の温度でトリメチルガリウム(以下、TMGと称する)、シランSiH₄、アンモニア、及び、キャリアガスを流入させる事により厚さ4μm程度のn型窒化ガリウムn-GaNを形成する。

【0020】(4) 次に、温度を1100℃に保ったままTMG、TMA、シラン、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により、厚さ30nm程度のn型窒化アルミニウムガリウムAI_{0.1}G_{0.9}Nからなるコンタクト層30を形成する。

【0021】(5) 次に、温度を1100℃に保ったまま、TMG、アンモニア、ジメチルジニクZn(CH₃)₂、シラン、及び、キャリアガスを流入する事により、厚さ40nm程度の窒化ガリウムGaN(Zn, Si)からなる活性層60を形成する。

【0022】(6) 次に、温度を1100℃に保ったまま、シクロペンタジエチルマグネシウム(以下、Cp₂Mgと称する)、TMG、TMA、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により、厚さ50nmのP型窒化アルミニウムガリウムp-AI_{0.15}G_{0.85}Nからなるクラッド層70を形成する。ここで、クラッド層7

(4)

特開2000-36616

0に含まれるマグネシウムMg濃度は、 5.0×10^{19} (cm^{-3})であった。

【0023】(7)次に、基板の温度を1100℃に保ったまま、 Cp_2Mg 、TMG、TMA、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により厚さ150nmのp型Al0.03Ga0.97Nからなるコンタクト層80を形成する。

【0024】(8)次に、温度を室温まで冷却する。

(9)次に、コンタクト層80の上に、所定の形状にパターンニングされたレジストを形成する。そして、このパターンニングされたレジストをマスクとしてコンタクト層80、クラッド層70、活性層60、クラッド層50、コンタクト層30の一部をエッチング除去し、パターンニングされたレジストをアッシングにより除去する。次に、例えば、CVD法を用いて酸化膜からなる保護膜11を全面に形成し、写真蝕刻法を用いて、コンタクト層30の上面が露出する様に開口部150を形成するとともに、コンタクト層80の上面が露出する様に開口部160を形成する。

【0025】その後、開口部106に電極90を形成し、その上の一部にパッド電極16を形成する。また、開口部105に電極40を形成し、その上面にボンディングパッド14を形成すると、図2に示した半導体発光素子が形成される。

【0026】本発明は以上の様に構成されている。即ち、コンタクト層80に添加されたAlの組成比($y=0.03$)は、クラッド層70に添加されたアルミニウムAlの組成比($x=0.15$)より低くなっている。この為、電極90とコンタクト層80とをオーミック接触させる事が容易となる。更に、後述するが電極90に酸化物系の電極を使用した場合であっても、電極90とコンタクト層80との間に電流を流す事が出来る。

【0027】ここで、コンタクト層80に添加されたアルミニウムAlの組成比 y と、クラッド層70に添加されたアルミニウムAlの組成比 x は、上述の値に限定されず、 $0 < x < 0.5$ 、かつ、 $0 < y < x$ の関係を満たせば良い。

【0028】また、クラッド層70には、活性層60に電子を閉じ込めておくのに十分な量のアルミニウムAlが添加されている(本実施形態では、組成比 $x=0.15$)。従って、本発明にかかる半導体発光素子は十分な発光が可能である。

【0029】また、活性層60に亜鉛Znが添加されているので、発光波長が変化し、コンタクト層80で光が吸収されることはない。また、上述の様に、クラッド層70に添加されたアルミニウムの組成比 x と、コンタクト層80に添加されたアルミニウムの組成比 y は、 $0 < x < 0.5$ 、かつ、 $0 < y < x$ の関係を満たす。組成比に関しては前述の関係を満足させ、かつ、p型不純物の濃度を概略同じにすると良い。これによりクラッド層7

0とコンタクト層80の形成が容易になり、結晶成長の再現性、均一性が良くなる。更に、素子による特性のばらつきも小さくなり、結晶性を向上させる事が出来る。

【0030】但し、p型不純物濃度が高すぎると結晶性が低下し、低すぎると十分なキャリア濃度が得られない為、p型不純物の濃度は 1×10^{19} 乃至 1×10^{21} (cm^{-3})の範囲内が望ましい。

【0031】次に、電極90に酸化物系の電極を使用した場合でも、電極とコンタクト層との間に電流を流す事が容易となる事について以下に詳細に説明する。上述の第一の実施形態に示した半導体発光素子を用いて、動作電圧 V_f 、及び、発光出力 P を測定した。実験は、半導体発光素子の動作電流 I_f を20(mA)、発光ピーク波長 λ を430(nm)として、p型電極90に酸化物系の電極と、一般に使用される電極を使用した場合の動作電圧 V_f 、及び、発光出力 P をそれぞれ測定した。

【0032】p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の積層膜(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧 $V_f=3.9$ (V)、発光出力 $P=2.8$ (mW)であった。

【0033】これに対して、p型電極90に酸化物系電極、例えば、ITOを使用した場合、動作電圧 $V_f=3.8$ (V)、発光出力 $P=2.9$ (mW)であった。特に、ITOからなる電極90を用いた場合には、動作電圧 V_f 、発光出力 P のばらつきが少なかった。

【0034】更に、上述の第一の実施形態に示した半導体発光素子におけるコンタクト層80に窒化ガリウムGa_{0.9}Nを用いた素子を使用して、前述と同様の実験を行った。p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の積層膜(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧 $V_f=3.9$ (V)、発光出力 $P=2.8$ (mW)であった。

【0035】これに対して、p型電極90に酸化物系電極、例えば、ITOを使用した場合、動作電圧 $V_f=2.0$ (V)以上となってしまい、十分な発光が確認できなかった。

【0036】以上の測定結果より、本発明に様にコンタクト層にアルミニウムAlを混入する事により、酸化物系電極とコンタクト層との間に電流を流す事が出来る事が分かる。一般に、ITOはp層(例えば、p型コンタクト層)とはオーミック接触しない事が知られているので、電流が流れる様になったのは量子障におけるトンネル効果による電流(以下、トンネル電流と称する)が流れる為と考えられる。

【0037】従って、電極に酸化物系電極を使用する場合、電極とコンタクト層間に電流を流す為には、コンタクト層に純粋な窒化ガリウムを使用せず、本実施形態の様に所定の濃度の不純物、例えばアルミニウムAlを添加した窒化アルミニウムガリウムを使用する事が良い事が解る。但し、アルミニウムの組成が10%を超えると

(5)

特開2000-36816

徐々に動作電圧が上昇してしまうので、コンタクト層のAl組成は0%より大きく10%以下が望ましい。

【0038】また、一般的にp型コンタクト層に含有されるアルミニウムAlの組成が低いほどオーミック接触を形成し易いと言われている。しかし、発明者らの実験ではAl組成が3%程度であっても、Ni/Au/Niを電極として用いた場合でも良好なオーミック接触を形成する事が出来た。

【0039】（第一の実施形態の変形例）次に、第一の実施形態の変形例について説明する。第一の実施形態と異なる所は、活性層60に亜鉛Znが含まれていない事である。

【0040】上述の第一の実施形態の変形例にかかる半導体発光素子を用いて、動作電圧Vf、及び、発光出力Pを測定した。実験は、半導体発光素子の動作電流Ifを20(mA)、発光ピーク波長λを387(nm)の紫外線を示し、p型電極90に酸化物系の電極と、一般に使用される電極を使用した場合の動作電圧Vf、及び、発光出力Pをそれぞれ測定した。

【0041】p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の合金(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧Vf=4.1(V)、発光出力P=1.4(mW)であった。

【0042】これに対して、p型電極90に酸化物系電極、例えば、ITOを使用した場合、動作電圧Vf=4.0(V)、発光出力P=1.5(mW)であった。特に、p型電極90にITOを使用した場合には、動作電圧及び発光出力の素子によるばらつきはなかった。

【0043】更に、上述の第一の実施形態に示した半導体発光素子におけるコンタクト層80に、濃度 $6.0 \times 10^{19}(\text{cm}^{-3})$ のマグネシウムMgを含有する窒化ガリウムGa₂Nを用いた素子を使用して、前述と同様の実験を行った。

【0044】p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の合金(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧Vf=4.1(V)、発光出力P=1.0(mW)であった。

【0045】これに対して、p型電極90に酸化物系電極、例えば、ITOを使用した場合には、動作電圧は20(V)以上となり、十分な発光が確認できなかった。以上より、一般に使用される電極、即ち、ニッケルと金の合金(Ni/Au/Ni)からなる電極を用いた場合でも、本発明の様にコンタクト層にアルミニウムAlを混入した方が発光出力が1.4倍(1.4mW/1.0mW)になっている。これは、従来の様に窒化ガリウムGa₂Nを活性層として用い、かつ、マグネシウムMgを添加したp型の窒化ガリウム(p型Ga₂N)をコンタクト層として使用した場合、p型窒化ガリウムが活性層から放出された光を吸収してしまうことが原因と考えられる。

【0046】この場合にも、アルミニウムの組成が10%を超えると徐々に動作電圧が上昇してしまうので、コンタクト層のAl組成は0%より大きく10%以下が望ましい。

【0047】（第二の実施形態）図5に第二の実施形態にかかる半導体発光素子を示した。図5に示す様に、例えばサファイアAl₂O₃からなる基板10の上に、例えば窒化ガリウムからなるバッファ層21が形成されている。また、その上に、例えばシリコンを含んだn型窒化ガリウムn-GaN(Si)からなるコンタクト層30が形成されている。このコンタクト層30の上面の一部には電極40が形成されており、他の上面の一部には例えば窒化インジウムガリウムInGa₂Nと窒化ガリウムGa₂Nの五層からなる活性層61が形成されている。また、その上に、例えば、マグネシウムを含有したp型の窒化アルミニウムガリウム(p-Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mg))からなるキャップ層25が形成されている。このキャップ層は、インジウムInの結晶劣化を防止する為に形成しているので、インジウムInの結晶の劣化が問題にならない場合には、キャップ層は必要ない。

【0048】また、その上には、例えば、マグネシウムを含有したp型の窒化アルミニウムガリウム(p-Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mg))からなるクラッド層70が形成される。更に、その上には例えば、マグネシウムを含有したp型の窒化アルミニウムガリウム(p-Al_{0.01}Ga_{0.99}N(Mg))からなるコンタクト層80が形成され、その上に、電極90が形成される。

【0049】次に、上述の半導体発光素子の製造方法について説明する。基板10の上に、MOCVD法を用いてバッファ層21、コンタクト層30、クラッド層61、キャップ層25、活性層61、クラッド層70、コンタクト層80を連続して積層形成する。以下に、更に詳細に説明する。

【0050】まず始めに、水素ガスを流しながら基板10を約1100℃で10分間加熱し、基板10の表面に付着して酸化膜を除去する。次に、温度を550℃まで冷却し、トリメチルガリウム（以下、TMGと称する）、アンモニア、及び、水素や窒素等のキャリアガスを流入させる事により、厚さ100nm程度の窒化ガリウムGa₂Nからなるバッファ層21を基板10の上に形成する。

【0051】これに続いて、1100℃程度の温度でTMG、シランSiH₄、アンモニア、及び、キャリアガスを流入させる事により厚さ4μm程度のn型窒化ガリウムn-GaNを形成する。

【0052】次に、温度を700℃まで冷却して、TMG、トリメチルインジウム（以下、TMIと称する）、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により、窒化インジウムガリウムInGa₂Nと窒化ガリウムGa₂Nからなる五層の活性層61を形成する。ここで、活性

(6)

特開2000-36616

層61に不純物を注入しても良い。

【0053】次に、温度を700℃に保ったままで、TMG、TMA、 Cp_2Mg 、アンモニア、キャリアガスを流入する事により、厚さ100nm程度のP型窒化アルミニウムガリウム $p-A1_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるキャップ層25を形成する。尚、キャップ層25に含有されるマグネシウムMgの濃度は $6.0 \times 10^{18} (cm^{-3})$ であった。

【0054】次に、温度を1100℃に加熱して、 Cp_2Mg の流量を変える事無く、TMG、TMA、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により、厚さ100nmのマグネシウムを含んだP型窒化アルミニウムガリウム $p-A1_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるクラッド層70を形成する。尚、クラッド層70に含有されるマグネシウムMgの濃度は $6.0 \times 10^{18} (cm^{-3})$ であった。

【0055】次に、温度を1100℃に保ったまま、 Cp_2Mg の流量を変える事無く、TMG、TMA、アンモニア、及び、キャリアガスを流入する事により、厚さ150nmのマグネシウムを含んだP型窒化アルミニウムガリウム $p-A1_{0.01}Ga_{0.99}N$ からなるコンタクト層80を形成する。尚、このコンタクト層80に含有されるマグネシウムMgの濃度は $6.0 \times 10^{19} (cm^{-3})$ であった。

【0056】次に、温度を室温まで冷却する。また、その後の工程は第一の実施形態の製造工程と同様であるので省略する。本発明は以上の様に構成されている。即ち、コンタクト層80に添加されたアルミニウムAlの組成比($y=0.01$)は、クラッド層70に添加されたアルミニウムAlの組成比($x=0.1$)より低くなっている。この為、電極90とコンタクト層80とをオーミック接触させる事が容易となる。更に、後述するが電極90に酸化物/金属系の電極を使用した場合であっても、電極90とコンタクト層80との間に十分な電流と流す事が出来る。

【0057】ここで、コンタクト層80に添加されたアルミニウムAlの組成比 y と、クラッド層70に添加されたアルミニウムAlの組成比 x は、上述の値に限定されず、 $0 < x < 0.5$ 、かつ、 $0 < y < x$ の関係を満たせば良い。

【0058】また、クラッド層70には、活性層61に電子を閉じ込めておくのに十分な量のアルミニウムAlが添加されている(本実施形態では、組成比 $x=0.1$)。従って、本発明にかかる半導体発光素子は十分な発光が可能である。

【0059】また、上述の様に、クラッド層70に添加されたアルミニウムの組成比 x と、コンタクト層80に添加されたアルミニウムの組成比 y は、 $0 < x < 0.5$ 、かつ、 $0 < y < x$ の関係を満たす。組成比に関しては前述の関係を満足させ、かつ、p型不純物の濃度を概略同じにすると良い。これによりクラッド層70とコン

タクト層80の形成が容易になり、結晶成長の再現性、均一性が良くなる。更に、素子による特性のばらつきも小さくなり、結晶性を向上させる事が出来る。

【0060】但し、p型不純物濃度が高すぎると結晶性が低下し、低すぎると十分なキャリア濃度が得られない為、p型不純物の濃度は 1×10^{19} 乃至 $1 \times 10^{21} (cm^{-3})$ の範囲内が望ましい。

【0061】次に、前述の実施例において電極90に酸化物/金属系の電極を使用した場合でも、電極とコンタクト層との間に十分な電流を流す事が出来る。次に、この事について以下に詳細に説明する。

【0062】上述の第一の実施形態に示した半導体発光素子を用いて、動作電圧 V_f 、及び、発光出力 P を測定した。実験は、半導体発光素子の動作電流 I_f を20(mA)、発光ピーク波長 λ を450(nm)として、p型電極90に酸化物/金属系の電極と、一般に使用される電極を使用した場合の動作電圧 V_f 、及び、発光出力 P をそれぞれ測定した。

【0063】p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の合金(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧 $V_f=3.7$ (V)、発光出力 $P=3.0$ (mW)であった。

【0064】これに対して、p型電極90に酸化物/金属系電極、例えば、ITO/Ni(Niの厚さは100nm程度)を使用した場合、動作電圧 $V_f=3.5$ (V)、発光出力 $P=3.2$ (mW)であった。

【0065】更に、上述の第二の実施形態に示した半導体発光素子におけるコンタクト層80に、濃度が $6.0 \times 10^{19} (cm^{-3})$ のマグネシウムMgを含有した窒化ガリウムGa N を用いた素子を使用して、前述と同様の実験を行った。

【0066】p型電極90に一般に使用される電極を使用した場合、例えば、ニッケルと金の合金(Ni/Au/Ni)を使用した場合、動作電圧 $V_f=3.7$ (V)、発光出力 $P=3.0$ (mW)であった。

【0067】これに対して、p型電極90に酸化物系電極、例えば、ITOを使用した場合、動作電圧 $V_f=4.5$ (V)、発光出力 $P=2.5$ (mW)であった。以上の測定結果より、本発明の様にコンタクト層にアルミニウムAlを混入する事により、ITO/Ni電極とコンタクト層との間に電流が流れ易くなる事がわかる。

【0068】従来技術の様に、マグネシウムMgを添加したp型窒化ガリウム(p型Ga N)をコンタクト層として使用した場合には、電極をNi/Au/NiからITO/Niに変える事により電圧が1.3倍程度に上昇する事からITO/Niとコンタクト層とのオーミック接触が十分でないと考えられる。

【0069】本発明の様にコンタクト層にアルミニウムAlを混入することによりITO/Ni電極とコンタクト層との間に電流が流れ易くなるのは、オーミック接触

(7)

特開2000-36616

には変化がないが、ニッケルNiの厚さが100nm程度と非常に薄いのでコンタクト層からITOへのトンネル電流が発生するためだと考えられる。

【0070】但し、アルミニウムの組成が10%を超えると徐々に動作電圧が上昇してしまうので、コンタクト層のAl組成は0%より大きく10%以下が望ましい。また、一般的にp型コンタクト層に含有されるアルミニウムAlの組成が低いほどオーミック接触を形成し易いと言われている。しかし、発明者らの実験ではAl組成が3%程度であっても、Ni/Au/Niを電極として用いた場合でも良好なオーミック接触を形成する事が出来た。

【0071】

【発明の効果】本願発明は、以上の様に構成されるので、p層のコンタクト抵抗を低減する事が出来る。特に、ITO等の酸化物系電極や、ITO/Ni等の酸化物/金属系電極を用いる場合に有効である。また、活性

層に窒化ガリウムGaN、又は、シリコンを含んだ窒化ガリウムGaN(Si)を用いた場合には、コンタクト層での光の吸収を抑制する事も出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】第一の実施形態にかかる半導体発光素子に上面図を示した図である。

【図2】図1におけるAB断面図を示した図である。

【図3】図2における電極近傍の拡大断面図である。

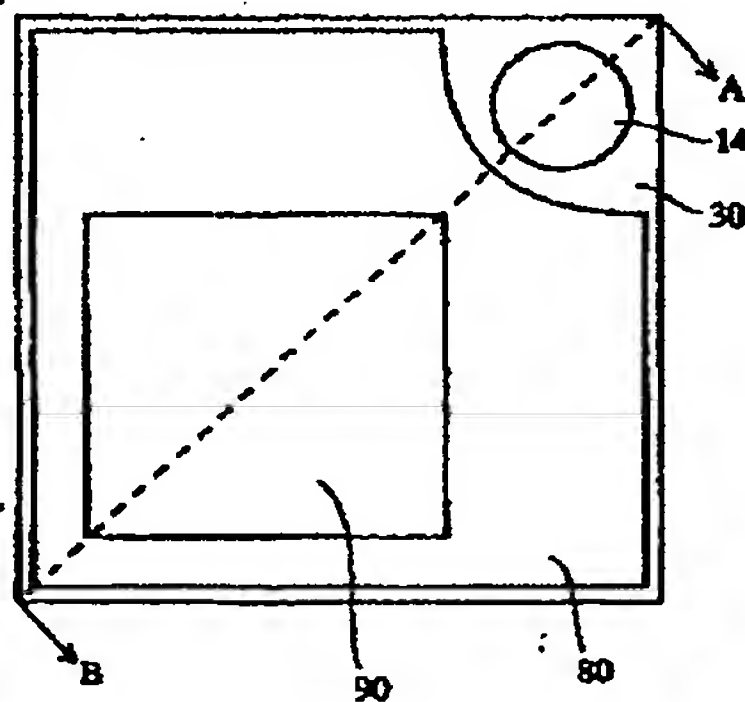
【図4】第一の実施形態にかかる半導体発光素子の製造工程の一部を示した図である。

【図5】第二の実施形態にかかる断面図を示したものである。

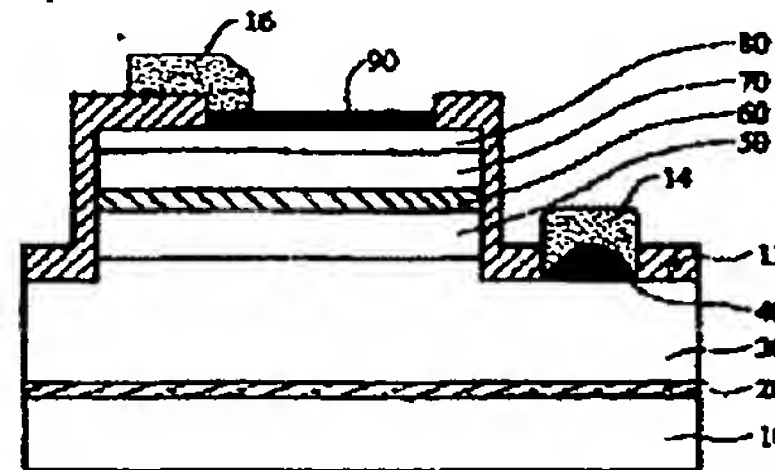
【符号の説明】

10…基板、20、21…パッファ層、30、80…コンタクト層、40、50…電極、50、70…クラッド層、60、61…活性層。

【図1】



【図2】



【図5】

